

温度与盐度对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的互作效应研究

刘志刚, 刘建勇, 杨博

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要: 在室内实验条件下, 采用二因素五水平的正交实验方案, 设置了5个温度梯度(15、19、23、27、31℃)和5个盐度梯度(18、22、26、30、34), 研究了温度与盐度对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的互作效应。结果表明: (1)华贵栉孔扇贝在最适盐度范围内, 幼贝适宜的存活温度为15.0~30.5℃; 最适存活温度19.0~27.0℃; 适宜生长温度15.0~30.4℃, 最适生长温度23.3~27.9℃。在最适温度范围内, 幼贝适宜的存活盐度为20.3~34.0; 最适存活盐度27.9~34.0; 适宜生长盐度19.3~34.0, 最适生长盐度21.9~34.0。(2)温度和盐度对幼贝存活和生长的影响存在互作效应。当盐度处于最适宜范围时, 幼贝的适宜及最适温度范围达到最大; 当盐度向两个极端移动时, 幼贝的适宜及最适温度范围变小; 但是适宜及最适温度范围的中心点不会随盐度的改变而改变。当温度处于最适宜范围时, 幼贝的适宜及最适盐度范围达到最大; 当温度向两个极端移动时, 幼贝的适宜及最适盐度范围变小; 但是适宜及最适盐度范围的中心点不会随温度的改变而改变。(3)幼贝对低温的适应能力强于对高温的适应能力, 对高盐的适应能力强于对低盐的适应能力。

关键词: 华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*); 幼贝; 存活; 生长; 温度; 盐度; 互作效应

中图分类号: S917.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)10-0075-06

华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)属软体动物门, 瓣鳃纲, 珍珠贝目, 扇贝科的种类, 为暖水性贝类, 分布于日本的本州、四国、九州、我国的东部和南部沿海以及印尼等西太平洋区域。华贵栉孔扇贝栖息于低潮线以下水清流急的岩礁、碎石块及沙砾较多的海底, 以足丝附着于岩礁石块或砂砾碎壳上, 营附着生活。该贝壳色泽美丽、个体大、生长速度快、养殖周期短、肉质细嫩、味道鲜美、营养丰富, 闭壳肌干制品俗称“干贝”, 为海产“八珍品”之一, 是我国重要的经济养殖贝类^[1-3]。华贵栉孔扇贝于20世纪70年代末在我国福建漳州开始养殖, 80年代中后期成为福建东南沿海规模化养殖的优良品种, 以后逐渐推广到广东惠州澳头、深圳南澳、湛江北部湾、广西北海涠洲岛等地^[4]。目前, 在广东湛江西部海域北部湾已形成一定的养殖规模, 已成为北部湾地区贝类养殖的支柱产业, 解决了大量转产转业渔民的生活出路。

目前对华贵栉孔扇贝的研究主要集中在生态习性、苗种培育、养殖模式等方面^[5-7]; 对各种环境因子如水温、光照、盐度及各种诱导剂等对幼体发育的影响也作了一些研究^[3,8]; 此外, 在环境因子对该贝生长与存活的影响的研究多集中在单因素考察^[9-11], 其中对温度盐度两个因子单独效应的研究

有较多的报道, 而对于多因素综合效应研究少见报道^[4,12]。多因素的综合影响效应体现出某种贝类生长时环境因子的协同效应、交互效应, 这更能够反应出每种环境因子的重要程度。本实验以在北部湾地区养殖的华贵栉孔扇贝的幼贝作为实验材料, 研究了温度与盐度互作效应对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的影响, 以期对华贵栉孔扇贝在南方海域的养殖生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

华贵栉孔扇幼贝于2010年1月18日取自广东省雷州市乌石海域, 该贝由该地亲贝孵化培育, 从一批幼贝中随机抽取一定数量的健康、贝壳完整、大小均匀、活力强盛、无病虫害的幼贝(平均壳长7.29 mm, 平均壳高8.62 mm), 用软毛刷去除表面污物, 暂养于水产学院广东高校热带海产无脊椎动物养殖

收稿日期: 2011-07-20; 修回日期: 2011-09-01

基金项目: 广东省科技计划项目(2010B020201014); 广东高校热带海产无脊椎动物养殖工程研究中心(GCZX-A0909)

作者简介: 刘志刚(1963-), 男, 教授, 从事贝类遗传育种及养殖技术研究, E-mail: liuzg@gdou.edu.cn

工程研究中心。暂养 7d 后用于实验。

1.2 方法

整个实验在室内控制条件下完成, 实验温盐度根据北部湾周年温盐度变化情况而设置, 温度设 15、19、23、27、31 5 个水温梯度; 盐度设 18、22、26、30、34 5 个盐度梯度。按二因素五水平正交方案, 共设置 25 个组合, 每组合设 3 个平行。实验容器为 1 000 mL 烧杯, 用 60 L 塑料方桶水浴控温, 烧杯实用水体为 750 mL, 放养幼贝 30 枚。为保证温度稳定和光照强度, 实验过程, 方桶上方盖透明塑料薄膜。各盐度梯度是通过向过滤海水中加经曝气的淡水或人工海水精配制。各组温度控制参考刘志刚等^[13]方法, 使用电触点水银温度计、500 W 石英加热管、1 000 W 电子继电器进行控温。

实验期间, 持续微波充气, 以湛江等鞭金藻 (*Isochrysis zhanjiangensis*)、亚心型扁藻 (*Platymonas subcordiformis*) 浓缩藻液混合投喂, 保持藻密度在 1×10^4 个/mL 以上, 保证水中饵料充足, 避免因饵料欠缺影响实验^[14]。各组每天等温度等盐度全换水 1 次。每天统计幼贝存活情况, 及时捞出死亡幼贝。实验过程当各组幼贝有两天以上不再出现死亡时即结束全部实验。实验结束时, 测量所有幼贝壳长、壳高, 统计存活率和壳高日增长率。按上述要求, 实验共进行了 16 d。

1.3 数据测定与处理

存活率(R_s)和壳高日增长率(R_g)按以下公式计算:

$$R_s = S_1 / S_0 \times 100\%$$

$$R_g (\text{mm/d}) = (L_1 - L_0) / (t_1 - t_0)$$

式中, S_1 和 S_0 分别为实验结束和开始时存活的幼贝数, t_1 和 t_0 分别为实验结束时间和开始时间。

幼贝死亡的界定以贝壳张开、肉体腐烂为标准。幼贝适宜的存活温度定义为幼贝在最适宜的盐度下, 存活率在 50% 以上的温度范围; 最适存活温度定义为幼贝在最适宜的盐度下, 存活率为 100% 的温度范围。幼贝适宜存活盐度定义为幼贝在最适宜的温度下, 存活率在 50% 以上的盐度范围; 最适存活盐度定义为幼贝在最适宜的温度下, 存活率为 100% 的盐度范围。幼贝适宜的生长温度定义为幼贝在最适宜的盐度下, 壳高增长率为壳高增长最优组在 30% 以上的温度范围; 最适生长温度定义为幼贝在最适宜的盐度下, 壳高增长率为壳高增长最优组在 80% 的

温度范围。幼贝适宜生长盐度定义为幼贝在最适宜的温度下, 壳高增长率为壳高增长最优组在 30% 以上的盐度范围; 最适生长盐度定义为幼贝在最适宜的温度下, 壳高增长率为壳高增长最优组在 80% 的盐度范围。

实验数据使用 SPSS(18.0) 统计分析软件处理, 采用响应曲面法(response surface methodology)^[15-16] 优化影响幼贝生长和存活的时间和盐度的交互效应, 并应用 SURFER8.0 软件处理数据和绘制 Response-surface 等值图^[17], 同时, 用 EXCEL2007 绘图。

2 结果

2.1 不同温度、盐度组合下的幼贝存活率

在实验结束时, 不同温盐度组合的成活率情况见图 1、图 2。由图可见, 在实验盐度范围内, 每一特定温度下, 幼贝的存活率均随着盐度的升高而升高, 当盐度为 18 时, 各温度组的幼贝均不能存活;

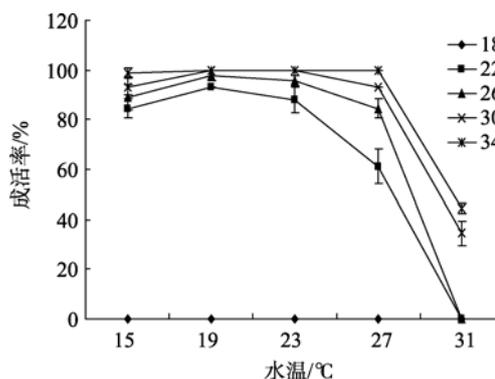


图 1 特定温度不同盐度的幼贝存活率曲线

Fig. 1 The survival of *C. nobilis* juvenile at different salinity at special temperature

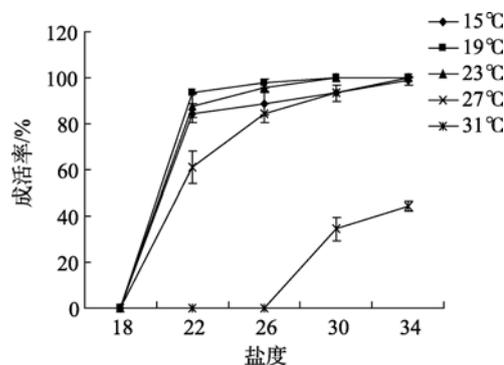


图 2 特定盐度不同温度的幼贝存活率曲线

Fig. 2 The survival of *C. nobilis* juvenile at different temperature at special salinity

盐度为 34 时各温度组的存活率均达到最高; 在实验温度范围内, 每一特定盐度下, 幼贝的存活率均随着温度而变化, 在盐度 34 时, 各温度组的幼贝均具有最高的存活率。

2.2 温度与盐度互作效应对幼贝存活的影响

双因素方差分析结果温度、盐度及其互作效应均极显著($P < 0.001$)。使用 SURFER(8.0)对数据进行优化处理和分析, 计算不同温度和不同盐度互作效应对华贵栉孔扇贝幼贝存活的影响(表 1, 表 2), 并绘制温度和盐度互作效应影响华贵栉孔扇贝幼贝存活的三维图(图 3)。由图可见: 随着盐度的升高, 幼贝适宜与最适存活温度范围逐渐扩大。在盐度 34 下, 幼贝的存活率最佳; 在温度 23 下, 幼贝的存活率最佳。

表 1 不同盐度下幼贝的适宜与最适存活温度范围

Tab. 1 Adaptive and the most adaptive temperature at different salinity based on survival of *C. nobilis* juveniles

盐度	适宜存活温度范围	最适存活温度范围
18	—	—
22	15.0 ~ 27.3	18.6 ~ 20.2
26	15.0 ~ 28.7	19.0 ~ 22.0
30	15.0 ~ 30.4	19.0 ~ 25.3
34	15.0 ~ 30.5	19.0 ~ 27.0

表 2 不同温度下幼贝的适宜与最适存活盐度范围

Tab. 2 Adaptive and the most adaptive salinity at different temperature based on survival of *C. nobilis* juveniles

温度()	适宜存活盐度范围	最适存活盐度范围
15	20.4 ~ 34.0	—
19	20.1 ~ 34.0	24.3 ~ 34.0
23	20.3 ~ 34.0	27.9 ~ 34.0
27	21.7 ~ 34.0	34
31	29.5 ~ 34.0	—

2.3 温度与盐度互作效应对幼贝生长的影响

使用 SPSS(18.0) 对温度和盐度对幼贝的生长影响进行双因素分析, 结果表明, 温度、盐度及其互作效应对幼贝生长具有显著影响($P < 0.001$)。使用 SURFER(8.0)对数据进行优化处理和分析, 得出其互作效应对幼贝的生长情况影响, 计算不同温、盐度下幼贝生长的最适盐度和温度范围(表 3, 表 4), 并绘制温度和盐度互作效应影响华贵栉孔扇贝幼贝生长的三维图(图 4), 视生长最优组的壳高日增长率为

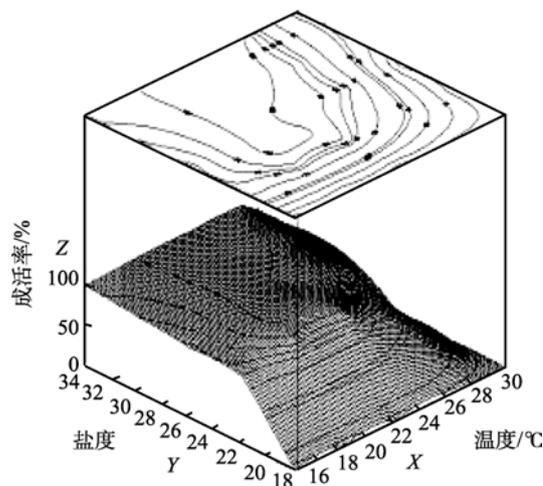


图 3 温度和盐度互作效应影响华贵栉孔扇贝幼贝存活的等值图和三维图

Fig. 3 Contour maps and 3D diagram showing the combine effects of temperature and salinity on survival of *C. nobilis* sjuvenile

100%。结果表明, 随着盐度的逐渐升高, 幼贝适宜与最适生长的温度范围逐渐扩大; 在温度 27 下, 幼贝壳高增长表现最佳。

3 讨论

3.1 华贵栉孔扇贝幼贝生存与生长的适宜温度和盐度范围

温度和盐度作为重要的环境因子, 对双壳贝类的存活与生长有显著影响^[18-20]。贝类对温度和盐度的适应能力与种类的遗传性和个体的生理状态

有关, 而与其个体大小关系不明显, 同种类的所有大小个体都以相同方式对温度和盐度作出反应^[21,22]。本实验研究了温度与盐度对华贵栉孔扇贝幼贝(平均壳长 7.29 mm, 平均壳高 8.62 mm)存活与生长的互作效应, 以期为该贝幼贝培育及成体的养殖提供实验依据。研究结果显示: 温度和盐度及其互作效应对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的作用极显著($P < 0.001$); 随着盐度的升高, 幼贝适宜与最适存活、适宜与最适生长的温度范围逐渐扩大, 在盐度 34 下, 幼贝的存活率与壳高增长最佳, 其适宜存活温度范围为 15.0 ~ 30.5, 最适存活温度范围为 19.0 ~ 27.0, 幼贝适宜的生长温度范围为 15.0 ~ 30.4, 最适的生长温度范围为 23.3 ~ 27.9; 在温度 23 下, 幼贝的存活率最佳, 其适宜的存活盐度范围为 20.3 ~ 34.0, 最适存活盐度范围为 27.9 ~ 34.0, 在温度 27 下, 幼贝壳高增长表现最佳, 幼贝适宜的生长盐度范围为 19.3 ~ 34.0, 最适的生长盐度范围为 21.9 ~ 34.0。华贵栉孔扇贝对高温和低盐比较敏感, 属于低温高盐品种。与本研究结果相似, 章启忠等^[23]对华贵栉孔扇贝稚贝(壳高 9.77 mm±0.19 mm)盐度适应性的研究, 发现稚贝适宜生长盐度为 24.56~37.09, 最适生长盐度

为 26.91~29.52, 当盐度变化超出最适范围时, 低盐端变化对成活率、壳高日增长率、体重日增长率影响比高盐端明显, 其结果在本研究的范围内并稍有差异, 这主要与所采用的适宜、最适盐率范围的标准, 实验过程中温度控制的范围不同有关。

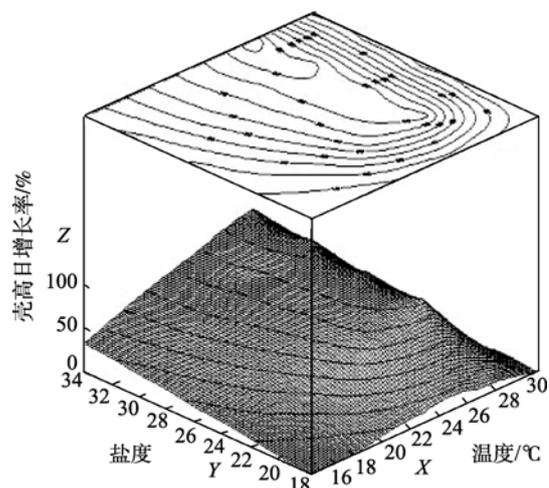


图 4 温度和盐度互作效应影响华贵栉孔扇贝幼贝生长的等值图和三维图

Fig. 4 Contour maps and 3D diagram showing the combine effects of temperature and salinity on growth of *C. nobilis* sjuvenile

表 3 不同盐度下幼贝的适宜与最适生长温度范围

Tab. 3 Adaptive and the most adaptive temperature in different salinity based on growth of *C. nobilis* juveniles

盐度	适宜生长温度范围	最适生长温度范围
18	—	—
22	19.5 ~ 29.4	26.3 ~ 27.1
26	16.9 ~ 29.7	23.9 ~ 27.3
30	15.6 ~ 30.2	23.6 ~ 27.8
34	15.0 ~ 30.4	23.3 ~ 27.9

表 4 不同温度下幼贝的适宜与最适生长盐度范围

Tab. 4 Adaptive and the most adaptive salinity at different temperature based on growth of *C. nobilis* juveniles

温度()	适宜生长盐度范围	最适生长盐度范围
15	31.7 ~ 34.0	—
19	22.7 ~ 34.0	—
23	19.3 ~ 34.0	—
27	19.3 ~ 34.0	21.9 ~ 34.0
31	—	—

3.2 温度和盐度的互作效应对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的影响

一般认为, 用温度和盐度组合影响研究海洋生

物对环境的响应要比单因子好得多^[25-26]。许多研究也表明, 温度和盐度及其互作效应对双壳类的存活与生长的作用极显著^[14,17-18,20]。林瑞才等^[27]进行温度和盐度对海湾扇贝幼虫附着变态影响的研究后发现,

在不同盐度下, 幼虫附着变态的适宜温度不同, 反之亦然。与以上结果相类似, 本研究也显示温度和盐度的互作效应对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的作用极显著($P < 0.001$), 温度对华贵栉孔扇贝幼贝存活率与生长的影响受盐度的控制, 而盐度对幼贝存活率与生长的影响受温度的控制。与本研究不同, 也有学者认为, 只有温度和盐度或其中之一接近极限范围时, 温度和盐度相结合才显示出明显的相互关系, 反之, 当温度或盐度处于安全范围时, 没有明显的关系。Castagna^[24]认为在多数情况下, 温度主要影响实验生物对盐度的反应速率, 并不改变生物对盐度的耐受限度。

研究温度和盐度互作效应对华贵栉孔扇贝幼贝存活与生长的影响, 对该品种的人工养殖具有重要指导意义。华贵栉孔扇贝是我国重要的经济养殖贝类^[3], 在我国南沿海、特别是北部湾海域已形成一定的养殖规模, 已成为北部湾地区贝类养殖的支柱产业。但随着养殖规模的扩大, 在夏季经常会出现爆发性大面积死亡, 生长速度变慢等问题^[28]。其原因在于: 北部湾海域, 4月份降水量逐渐加大, 特别是在7、8月份的高温季节, 降水量最大, 养殖海域内盐度逐渐降低, 华贵栉孔扇贝对高温和低盐比较敏感, 高温和低盐的交互作用给华贵栉孔扇贝的生存与生长造成了极大的影响。可见, 在发展华贵栉孔扇贝养殖的同时, 应科学选择养殖海区, 应避免在周年温度和盐度变化可能超出华贵栉孔扇贝稚贝适宜生存范围的海区进行养殖; 另外, 在养殖过程中, 应该尽量将盐度和温度控制在最适宜生存范围内, 缩短养殖周期, 提高生产效益。

参考文献:

- [1] 张丹. 华贵栉孔扇贝人工育苗实验[J]. 海洋渔业, 1982, (2): 21-24.
- [2] 蔡英亚, 谢绍河. 广东的海贝[M]. 汕头: 汕头出版社, 2006: 256.
- [3] 柯才焕, 孙泽伟, 周时强, 等. 华贵栉孔扇贝幼体附着和变态的化学诱导[J]. 海洋科学, 2000, 24(12): 5-8.
- [4] 吕文刚. 华贵栉孔扇贝早期生活史温盐效应与选择育种及颜色性状遗传规律研究[D]. 湛江: 广东海洋大学水产学院硕士论文, 2010.
- [5] 黄富钦. 华贵栉孔扇贝人工育苗及养成技术[J]. 渔业现代化, 2004, (3): 12-14.
- [6] 路宜华, 苏美玲, 梁娟, 等. 华贵栉孔扇贝北方工厂化苗种繁育试验[J]. 齐鲁渔业, 2004, 21(1): 22-23.
- [7] 陈柏云, 蔡友义, 陈德敬. 华贵栉孔扇贝浮游幼虫食性的研究[J]. 厦门大学学报自然科学版, 1985, 24(3): 126-127.
- [8] 翁德全. 关于华贵栉孔扇贝稚贝生态的初步观察[J]. 福建水产科技, 1980, 2: 32-33.
- [9] lan Laing. Effect of salinity on growth and survival of king scallop spat(*Pecten rmaximus*)[J]. Aquaculture, 2002, 205(1-2): 171-181.
- [10] Rico-Villa B, Pouvreau S, Robert R. Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2009, 287(3-4): 395-401.
- [11] Gyda Christophersen, Oivind Strand. Effect of reduced salinity on the great scallop(*Pectenmaximus*)spat at two rearing temperatures[J]. Aquaculture, 2003, 215(1-4): 79-92.
- [12] Navarro J M, Leiva G E, Martinez G, et al. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning[J]. Jexp Mar Biol Ecol, 2002, 47(1): 67-83.
- [13] 刘志刚, 刘建勇, 王辉, 等. 墨西哥湾扇贝稚贝盐度适应性的研究[J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(6): 12-16.
- [14] 栗志民, 刘志刚, 姚茹, 等. 温盐度对皱肋文蛤幼贝生长与存活的影响[J]. 生态学报. 2010, 30(13): 3406-3413.
- [15] Sen R. Response surface optimization of the critical media components for the production of surfactin[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 1997, 68: 263-270.
- [16] Sen R, Swaminathan T. Response surface modeling and optimization to elucidate and analyze the effects of inoculum age and size on surfactin production. Biochemical [J]. Engineering Journal, 2004, 21: 141-148.
- [17] 梁玉波, 张福绥. 温度、盐度对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)胚胎和幼虫的影响[J]. 海洋与湖沼, 2008, 4(39): 334-339.
- [18] 王丹, 徐善良, 尤仲杰, 等. 温度和盐度对青蛤孵化及幼虫、稚贝存活与生长变态的影响[J]. 水生生物学报, 2005, 29(5): 495-501.
- [19] 刘志刚, 王辉, 栗志民, 等. 墨西哥湾扇贝高起始致

- 死温度的研究[J]. 中国水产科学, 2007,14(5): 778-785.
- [20] 林笔水, 吴天明, 黄炳章. 温度和盐度对菲律宾蛤仔稚贝生长及发育的影响[J]. 水产学报, 1983, 7(1): 15-23.
- [21] 何义朝, 张福绥, 王萍, 等. 墨西哥湾扇贝稚贝对盐度的耐受性[J]. 海洋学报. 1999, 21(4): 87-91.
- [22] 尤仲杰, 陆彤霞, 马斌, 等. 温度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响[J]. 水产科学, 2003, 32(1): 8-10.
- [23] 章启忠, 刘志刚, 王辉. 华贵栉孔扇贝稚贝盐度适应性的研究[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 27(1): 40-43.
- [24] Castagna M. Culture of the bay scallop, *Argopecten irradians* Lamark, in Virginia[J]. Marine Fisheries Review, 1975, 37: 19-24.
- [25] Verdonk N H, van den Biggelaar J A M, Tompa A S. The Mollusca, Vol.3[M]. New York: Development Academic Press, 1983, 299-343.
- [26] Kinne O. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature combinations[J]. Oceanography Marine Biology Annual Review, 1964, 2: 281-339.
- [27] 林瑞才, 陈敏. 温度和盐度对海湾扇贝幼虫附着及变态的影响[J]. 台湾海峡, 1989, 8(1): 60-67.
- [28] 黄启凤. 华贵栉孔扇贝爆发性死亡原因及防治措施刍议[J]. 海洋渔业, 2002, 22(3): 126-127.

Interactions of temperature and salinity to the survival and growth of *Chlamys nobilis* (Reeve)

LIU Zhi-gang, LIU Jian-yong, YANG Bo

(Fishery college, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Received: Jul., 20, 2011

Key words: *Chlamys nobilis*; juvenile; survival; growth; temperature; salinity; interaction

Abstract: To get insight into adaptability to temperature and salinity and to provide a scientific basis to ambient control for the breeding and culture of *Chlamys nobilis*(Reeve), the interactions of temperature and salinity to the survival and growth of *C.nobilis* juvenile were studied under indoor experimental conditions. The orthogonal test methodology of two factors and five levels has been applied to set up 5 temperature gradients (15, 19, 23, 27 and 31°C) and 5 salinity gradients(18, 22, 26, 30 and 34). Results: (1) In the most adaptive salinity scope, the survival temperature for the juvenile is 15.0~30.5°C; the most adaptive temperature is 19.0~27.0°C; the adaptive growth temperature is 15.0~30.4°C, the most adaptive temperature is 23.3~27.9°C. Within the most adaptive temperature scope, the adaptive salinity for the juvenile is 20.3~34.0, the most adaptive salinity 27.9~34.0, the adaptive growth salinity is 19.3~34.0, and the most adaptive growth salinity 21.9~34.0. (2) There exist interactions between temperature and salinity to the survival and growth of juvenile. When the salinity was in the most adaptive scope, the adaptive and most adaptive temperature scope for the spats reached the maximum. When the salinity moved to the two ends, the adaptive and most adaptive temperature scope for the spats shranked. Yet the central point for the adaptive and most adaptive temperature scope did not alter with the change of the salinity. When the temperature was in the most adaptive scope, the adaptive and most adaptive salinity scope for the spats reached the maximum. If the temperature turned to the two ends, the adaptive and most adaptive salinity for the spats shranked. The central point of the adaptive and most adaptive salinity scope did not change with the alteration of the temperature. (3)The juveniles adaptability for the high salinity was stronger than the low salinity, and adaptability for the low temperature is stronger than the high temperature. The research has offer new insights to the ecological theory of the *C. nobilis* culture.

(本文编辑: 康亦兼)